

ジオスペース研究センター・プロジェクト4

「実証型ジオスペース環境モデリングシステム(GEMSIS-phase II) : 宇宙嵐に伴う多圏間相互作用と粒子加速の解明に向けて」

平成26年度報告書

1. プロジェクト構成

学内メンバー： 関華奈子[#]、増田智[#]、家田章正[#]、草野完也、三好由純、

塩川和夫、野澤悟徳、松原豊、西谷望、荻野竜樹、梅田隆行、

塩田大幸、宮下幸長、桂華邦裕、堀智昭、齊藤慎司、瀬川朋紀

学外協力者： 海老原祐輔、菊池崇 (RISH)、中溝葵 (FMI)、浅井歩 (京大)、冨島敬 (JAMSTEC)、

井上諭 (NICT)、渡邊恭子 (ISAS/JAXA)、天野孝伸 (東大理)、松本洋介 (千葉大理)、

高田拓 (高知高専)、田中良昌 (極地研)、吉川顕正 (九大)、平木康隆 (NIFS)、

新堀淳樹 (RISH)、西村幸敏 (UCLA)

*プロジェクトリーダー、#サブグループリーダー

プロジェクト web: <http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/gemsis/>

2. 研究成果

太陽活動極大期に頻発する宇宙嵐は、太陽から地球上層大気までの広い範囲で領域間相互作用が強まることにより生じる大規模な宇宙環境変動現象である。本プロジェクトでは、太陽、磁気圏、電離圏の3つのサブグループを中心に、ジオスペースにおける各領域での実証型モデルを構築し、宇宙嵐時に強く発動する多圏間相互作用と高エネルギー粒子生成・消滅を担う物理機構の解明を目指して、研究を進めている。また、コミュニティのニーズに応じて、太陽観測衛星ひので、ジオスペース探査計画 ERG のサイエンスセンター機能（メタデータ付データベース、統合解析ツール等）の整備を推進してきた。

平成 25 年度より太陽地球環境研究所と宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所との共同運営により、宇宙科学連携拠点 ERG サイエンスセンターが設置され、ERG プロジェクトのデータベースの構築や統合解析ツールの開発を行っている。ここでは双方の教員に加え、特任教員 4 名がセンター活動に従事している。平成 26 年度は、ERG 衛星の Level-2 以降の科学データの処理パイプラインの検討および科学データフォーマットの設計を進めた。また、プラズマ 3 次元分布関数の解析ツールの開発を進め、統合解析ツールへの実装を行った。さらに、衛星観測計画立案ツール等の検討も行っている。

以下では、サブグループ毎に研究成果の概要を報告する。

2.1. GEMSIS-太陽サブグループの研究成果の概要

第二期における GEMSIS-Sun の大目標は、「太陽フレアにおいて、エネルギー蓄積過程、トリガ機構、エネルギー解放、粒子加速過程を統一的に理解すること」であり、そのための現実的なモデルを構築し、観測結果(特に大フレア)との比較研究を行う。また、Hinode 衛星を中心にサイエンスデータベースの構築・整備を行っている。今年度は、主に下記のような研究活動を行った。

白色光フレアの発生要因に関する統計的研究

白色光フレアとは、可視連続光において増光が観測される太陽フレアである。白色光増光には、加速電子の降り込みが深く関わっていることは分かっているが、発生過程の詳細については未解明である。本研究では、多数の太陽フレアを白色光フレアと非白色光フレアに分類し、両者を多波長観測(可視連続光、Ca II 線、軟 X 線、硬 X 線、電波)で得られたさまざまな物理量で比較することにより、統計的に白色光増光を生み出す要因を探った。これは世界的にも全く新しい

手法である。その解析結果を考察して、白色光増光には、大量の比較的lowエネルギーの加速電子がコンパクトな領域に短時間に降り込むことが重要であるという結論を得た。これは、今後の白色光フレアの発生モデルの議論に大きな制約を与えることになる。

太陽フレアのトリガ機構に関する研究

太陽フレアは太陽コロナ磁場のエネルギー解放過程であると考えられているが、何がその発生のトリガとなるかは未だに明確に理解されていない。このため、いつ、どこで、どれほどのフレアが発生するかを予測することは十分できていない。我々はこれまでスーパーコンピュータを用いた系統的な3次元電磁流体力学シミュレーションに基づいて2つの特徴的な太陽磁場構造がフレアのトリガに関わっていることを指摘し、太陽表面磁場の詳細観測によってフレア発生を予測できることを提唱してきた。本年度は2014年10月に活動領域NOAA12192で連続して発生した大型フレアのトリガ過程について、Hinode衛星及びSDO衛星の観測データを用いて解析した。特に、磁場観測データを使った非線形フォースフリー磁場を使い、その磁力線構造とフレア前の発光現象の関係を詳しく調べた。その結果、ひとつの活動領域内部にフレアを起こし得る構造が複数同時に存在し、その複合作用で大型フレアが発生した可能性などを指摘した。

太陽フレアにおける太陽表面磁場の変化に関する研究

太陽フレアは太陽表面からコロナに至る磁場に蓄積された自由エネルギーの解放過程であると考えている。そのため、フレアの結果として自由エネルギーを担う太陽表面の水平磁場は減少すると考えられてきた。しかし、最近の観測によって、一部のフレアでフレアの結果、水平磁場が増加することが見出されている。我々はこの現象を説明するために系統的に行われた3次元電磁流体力学(MHD)シミュレーションの計算結果を再解析した。その結果、フレアの際に起きる磁気リコネクションが作るアーケード磁場の内部で太陽表面近くの水平磁場がアーケード磁場によって圧縮を受ける結果として水平磁場の増加が起こることを見出した。また、水平磁場増加率はフレアの前の磁場のシア角の大きいほど増加するなど観測的に示唆される特徴を数値的に再現することができた。この結果は、水平磁場の増加はリコネクションによる自由エネルギーの解放というフレアの基本モデルと矛盾しないことを明確に示すものとして注目されている。

太陽フレアにおける彩層蒸発プラズマのダイナミクスについての研究

太陽フレアはあらゆる波長で増光し、突発的な増光する現象として観測される。この太陽フレアによってコロナ上空で激しい加熱が起る。その結果として、コロナから彩層に向けて熱伝導がおき、彩層蒸発という現象が起る。これまで彩層蒸発流に関する研究は数多くおこなわれ、数百万度のコロナプラズマは太陽表面から離れる方向の上昇流として、それより冷たいプラズマは下降流として観測される等、様々な特徴が明らかとなった。しかし、時間分解能の都合などからフレア初期相に関する理解は乏しい。我々は、ひのでEISの観測を用いて初期相における彩層蒸発を調べた。すると、驚いた事に数百万度のプラズマは太陽方向に向かって下降運動している事がわかった。この下降流を説明するため、電離非平衡・電磁流体計算コードを用いて観測と計算の比較をおこなった。その結果、熱伝導係数が理論から予測されているものの1/10程度あれば観測を説明できる事が明らかになった。この結果は太陽コロナにおける熱伝導係数の取り扱いを再考する必要がある事を示唆している。

磁場・コロナホール自動追跡モジュールの開発

ひので衛星に搭載された可視光・磁場望遠鏡(Solar Optical Telescope: SOT)の観測データを用いて太陽表面における磁場構造を解析するために、磁気要素等を自動で検出し各領域の時間変化を追跡するモジュールを開発した。このモジュールをさらに黒点崩壊まで扱えるよう拡張した。具体的には磁気要素のような小さい構造と黒点のような大きい構造を空間周波数で切り分ける事で、大きいスケールから小さいスケールまで同時に追跡する事が可能となった。現在、多数の黒点観測に適応し、統計的に黒点崩壊の性質を研究している。また、同じ手法を用いて、SDO衛星、STEREO

衛星の観測を使用して太陽全球でコロナホール生成・消滅を議論するモジュールも開発した。現在、多数のコロナホール観測に適応し、統計的にコロナホール生成・消滅過程を研究している。

全自動太陽風-放射線帯予報モデルの開発

GEMSIS-Sun では、太陽-地球間の相互作用を理解し、リアルタイムの予報を実現するために太陽風-放射線帯の全自動リアルタイムシミュレーションモデルの開発を行った。太陽風モデルでは、GONG プロジェクトで得られた太陽の光球磁場観測のみを入力データとして利用し、コロナ全球のポテンシャル磁場を計算する。惑星間空間へと開いた磁力線の形状から太陽風速度の緯度経度分布を求め、その時系列データを内側の境界条件として、25 太陽半径から 6 天文単位まで内部太陽圏全球の太陽風を 1 週間先までを MHD シミュレーションで再現している。2007 年から 2009 年までの 3 年間の地球・金星・火星の位置での太陽風変動の in situ 観測と太陽風シミュレーション結果との比較を行ったところ、磁場の極性ととも速度の変動をよく再現していた。この磁場の観測データ取得から太陽風 MHD シミュレーションを毎日自動で実行し、地球の位置の太陽風の時系列データを放射線帯シミュレーションに入力データとして結合させることで、放射線帯電子フラックスの変動の計算を行っている。太陽風および放射線帯電子フラックスの予報結果の公開をウェブページにて開始した。

URL: <http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/susanoo/>

コロナ磁場データベースの作成

GEMSIS-Sun では、太陽フレアの発生過程を理解するために必要なコロナ磁場のデータベースとして、ひので衛星と SDO 衛星によって取得されたベクトルマグネトグラム等の光球面磁場データを境界条件とした Non-linear force free field (NLFFF) データベースの作成を行っている。前年度までに開発された自動化プログラムを使用し、2006 年以降に大規模フレア (M5 クラス以上) を発生した活動領域について、8 例のフレア発生前後の複数の時刻のコロナ磁場を計算した。フレア研究のデータ解析に広く利用してもらうために、ウェブページにおいて磁力線を可視化した画像の公開を開始した。太陽フレア発生過程の解明に向けて、ひので衛星がより多くの太陽フレアを観測することが求められている。そのために、ひので衛星運用を担う研究者は太陽フレアが発生する活動領域を予想して観測プランニングを行わなければならない。そこで我々は、現在の太陽にある活動領域のリストおよび SDO 衛星ベクトル磁場データをリアルタイムで収集し、以下の URL のページに表示するシステムを構築した。このページはひので衛星運用プランニングの参考資料に利用されて始めている。

URL: <http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/nlfff/nrt/>

Hinode 衛星フレアデータベース作成

2006 年 10 月の Hinode 衛星の観測開始から現在までに 3 つの搭載機器 (SOT・XRT・EIS) で観測された太陽フレアのカatalog作成を行い、随時更新している。本カatalogには、野辺山電波ヘリオグラフ、RHESSI 衛星の観測情報も含まれている。今年度は、さらに X 線天文衛星 Suzaku が検出した太陽フレアの情報も付加した。

URL: http://st4a.stelab.nagoya-u.ac.jp/hinode_flare/index.html

2.2. GEMSIS-磁気圏サブグループの研究成果の概要

GEMSIS-磁気圏グループでは、宇宙嵐時に生起するダイナミックなジオスペース変動と粒子加速・消失過程の理解を目指している。また、ジオスペース環境変動の衛星観測、地上観測、理論・モデリング・総合解析を三位一体で進める予定のERG計画に向けて、実証型モデルの構築とともに、異なるデータを効率的に解析可能な総合解析ツールなどの開発を進めてきた。以下では今年度のハイライトに関して報告する。

相対論的電子加速に対する準線形および非線形散乱モデルの検証

Whistler Chorusとの波動粒子相互作用を介した放射線帯電子加速に対してこれまで準線形モデルが多く利用されてきた。しかしながら実際観測されているwhistler chorusは強い非線形性を持ち、準線形モデルでchorus-電子間の波動粒子相互作用を説明出来るかどうかについて近年注目されてきている。本研究では電子加速に対する非線形性の重要性について注目した。局所的にミリ秒以下で実現される非線形散乱プロセスを解きつつ、グローバルなスケールで数千秒程度散乱された際の電子加速の様子について、GEMSIS-RBWモデルを用いてコンピュータシミュレーションを行い、非線形散乱プロセスの影響について調べた。この結果より、非線形散乱プロセスを考慮することにより準線形モデルより多くのMeV電子が短時間で生成されることが明らかになった。本結果は放射線帯での相対論的電子生成は常に準線形モデルだけで理解される訳ではなく、非線形散乱プロセスの重要性を示唆している。

GEMSIS-RBW、Van Allen Probes、EISCATを用いた脈動オーロラにおける降下電子の研究

トロムソで観測された脈動オーロラの降下電子スペクトルをEISCATを用いて導出し、脈動オーロラ時に数十keVの電子に加え、数百keVの電子も同時に降ってきていることが明らかになった。また、このときトロムソの視野内にVan Allen Probesのfootprintがあり、Van Allen Probesは赤道面側で強いコーラス波動を観測していた。観測されたコーラス波動のスペクトルおよびVan Allen Probesが観測した高エネルギー電子スペクトルを初期値としてGEMSIS-RBWを用いた降り込み電子の計算を行ったところ、EISCATから得られた降り込み電子のエネルギースペクトルをよく再現し、コーラスによる波動粒子相互作用が広いエネルギー帯の電子を同時に散乱させていることを実証的に明らかにした。

プラズマ圏EMIC/磁気音波波動の統計解析

あけぼの衛星およびVan Allen Probes衛星データを用いてプラズマ圏EMIC波動および磁気音波波動についての統計解析を行った。その結果、磁気音波波動がプラズマ圏内を動径方向にL<2まで伝搬していることが明らかになるとともに、プラズマ圏深部においてEMIC波動にモード変換されていることが新たに見出された。この結果は、プラズマ圏EMIC波動の起源が従来考えられてきたサイクロトロン共鳴による励起だけではなく、別の波動のモード変換過程も寄与していることを示している。

地球内部磁気圏における酸素イオン増加と消失に関する観測的研究

磁気嵐発生時に地球磁気圏内で増加する高エネルギー（1-1000 keV）酸素イオンのダイナミクスを調べるため、Van Allen Probes衛星やAMPTE/CCE衛星で得られたデータを用いた研究を行っている。酸素イオンの消失については、Van Allen Probes衛星によって、電荷交換反応で予想される消失率よりも速く消失していることが示された。これは、波動粒子相互作用によるイオン消失の重要性を示唆する結果である。酸素イオンの増加については、サブストーム時の磁場双曲化に伴って突発的に増加することが過去の直接および遠隔観測で示されていたが、以下のように、イオン供給とその場加速の両者が寄与していることが観測的に明らかになった。今後統計解析を進めることで、相対的な役割や重要性を明らかにしていく。

AMPTE/CCE衛星データを用いた事例解析により、磁場双極子化に付随する磁場変動は酸素サイクロトロン周波数付近の周波数を持つことが確認された。同時に0.5-5 keV酸素イオンのフラックス増加も確認された。これは、磁場双曲化に伴う磁場変動により、酸素イオンが局所的に非断熱的に加速を受けたことを示唆している。一方で、Van Allen Probesミッションによる複数衛星観測により、磁気嵐主相中のサブストーム発生時に、酸素イオンが突発的かつ広範囲にわたって増加している事例が確認された。エネルギースペクトル解析から、酸素イオンは非断熱加速を受けていないことが示された。これは、内部磁気圏あるいは近尾部プラズマシートに予め存在していた低温/熱的酸素イオンが断熱的に輸送・加速されたことを示唆している。

ERGサイエンスセンター

ERG衛星は、2012年8月にジオスペース探査衛星ERGプロジェクトとして、JAXAでプロジェクト化され、2015年の打ち上げを目指して準備が進められている。プロジェクト4のメンバーは、ERGプロジェクトの中心メンバーとしてプロジェクトの推進にあたっている。上述のように昨年度から、宇宙科学連携拠点として、ISAS、STEL双方が共同でサイエンスセンターを運用する体制が確立され準備を進めている。GEMSISプロジェクトの特任教員2名、およびISAS経費で雇用される特任教員2名がプロジェクト専任となり、サイエンスセンター活動を推進している。特にGEMSISプロジェクトとしては、ERG連携地上観測データのアーカイブ構築と、そのデータアーカイブと連携することで多種データを可視化・解析できる統合解析ツールの開発を行っている。今年度は、地磁気データ、電離圏レーダーデータ、及び大気光・オーロラ撮像データに関して、それぞれ新規に複数の観測点のデータをデータアーカイブに追加し、統合解析ツールとともに内外の研究コミュニティに向けて公開した。また、SPEDAS (THEMISプロジェクトの解析ツールTDASをベースに、宇宙科学のコミュニティツールを開発しようというコンソーシアム)活動にも参加し、技術提供や提言を行っている。

以上の研究成果の他、GEMSIS-磁気圏サブグループでは、宇宙嵐に関係する諸現象(オーロラ、放射線帯変動等)のデータ解析研究も推進した。なお、ERGサイエンスセンターについては、宇宙科学研究所、地上観測データ提供元の諸機関および大学間連携プログラム IUGONET や UCB 等の国際パートナー等と協力しながら推進した。

2.3. GEMSIS-電離圏サブグループの研究成果の概要

GEMSIS-電離圏グループでは、極域電離圏と他の領域との結合過程を、総合的に解明することを目指している。特に、磁気圏尾部との結合によるサブストーム、および赤道電離圏との結合によるグローバル電離圏変動を主軸として研究を進めている。本年度は下記の成果を得た。

電気伝導度の太陽天頂角依存性

本研究では、地球の昼間電離圏における、高度積分した電気伝導度の、太陽天頂角(SZA)依存性を調べた。特に、ペダーセン伝導度に対するホール伝導度の、比について近似式を理論的に得た。式の検証には、トロムソ(67 MLAT)の EISCAT レーダー観測を用いた。観測は、地磁氣的に静穏な、2012年3月30日に行われた。

電気伝導度は電子密度に依存している。昼間の電離圏電子は、太陽の極端紫外線による、中性大気の電離を生成源としている。このような電子の密度は、特にE層ではChapman理論により近似されることが多い。従って、電気伝導度のモデルには、Chapman理論が何らかの形で含まれていることが自然である。しかし、過去の研究においては、伝導度のSZA依存性が、Chapman理論による最大電子密度とコンシステントなモデルや、矛盾するモデルの両方が提唱されている。

本研究では、ペダーセン伝導度は、Chapman理論を修正すれば、観測とコンシステントであることを見出した。そのような修正は、E層のtopsideでは垂直方向に電子密度が一様であると近似すること、また、中性大気温度が高高度ほど高くなる効果を取り入れることである。SZAが大きくなるほど、つまり夜に近づくほど、伝導度は小さくなるが、この変化は、ペダーセン伝導度よりも、ホール伝導度の方が大きかった。これは、SZAが大きいほど、ホール層が薄くなるからであると理解される。このために、SZAが大きいほど、ペダーセン伝導度に対するホール伝導度の比は小さくなる。この効果を、Chapman理論における最大電子生成高度により表現し、電気伝導度比の近似式を作成した。

磁気急始時に極域電離圏に誘起される対流電場

磁気圏-電離圏結合の観点で、磁気急始時に極域電離圏に誘起される対流電場に関して、北半球

で稼働中の全 SuperDARN レーダーから得られる電離圏プラズマ対流観測データを数年分統計することで、磁気急始に伴う過渡的な電離圏プラズマ対流振動の全体像を明らかにした。結果として、磁気急始の極性と、惑星空間磁場の Y 成分の極性との組み合わせにより、誘起される対流振動の構造が正反対の朝夕非対称構造を持つことが、今回初めて観測的に示された。この結果とグローバル MHD シミュレーションとの比較により、この朝夕非対称性を持つ対流振動が、元々極域電離圏に誘起されていた磁気圏対流電場と、磁気圏の急圧縮・膨張によって発生した過渡的な電場とが重なった結果として理解できることがわかった。

サブストームに伴う磁気圏近尾部の変化とオーロラオンセットアークの発展の対応

サブストーム開始時の磁気圏近尾部における変化とオーロラオンセットアークの発展のタイミングについて、THEMIS 衛星と地上全天カメラのデータを用いて事例解析を行った。THEMIS 地上全天カメラは、オーロラを広範囲にわたって、これまでの衛星搭載のカメラよりも高い時間空間分解能で観測している。そのため、従来よりも詳細にオーロラの発展のタイミングを調べることができる。オーロラオンセットアークは、出現し、増光し始めてから数分後に大きく波打ち、渦巻き始める。さらにその数分後に極方向に拡大する。THEMIS 衛星による磁気圏尾部の観測から、磁気リコネクションは、 $X \sim -20$ Re 付近で、オーロラオンセットアークの出現の少なくとも 1-2 分前に始まることがわかった。その後、オーロラの波状構造の出現と同時に、 $X \sim -10$ Re のプラズマシートで低周波波動が励起する。そして、オーロラの極方向拡大と同時に磁場双極子化が始まる。これらの結果から、磁気リコネクションは磁場双極子化とオーロラオンセットアークの発展を促す役割を果たしていることが示唆される。

サブストームのエネルギー収支と磁気圏尾部のエネルギー輸送の評価

私たちがこれまでに得た観測結果に基づいて、サブストームのエネルギー収支と磁気圏尾部のエネルギー輸送について定量的な評価を行った。サブストーム爆発相のエネルギー、すなわち、電離圏のジュール加熱と粒子の降り込み、およびリングカレントの粒子注入のエネルギーは、磁気圏尾部から十分な量が供給され得ることを示唆する結果が得られた。磁気圏近尾部のプラズマシートのエネルギーの大部分は、磁気圏近尾部の磁気リコネクションによって発生するプラズマシートの高速流よりも、ローブから直接ポインティングフラックスとして運ばれることがわかった。しかし、磁気圏近尾部の磁気リコネクションの役割はサブストーム爆発相のポインティングフラックスを増大させることであり、それに伴って供給されるエネルギーはサブストームのエネルギーに十分に足りることを提唱した。

2.4. 関連する査読付き論文 (2014 年 1 月以降)

- Bamba, Y., Kusano, K., Imada, S., Iida, Y., Comparison between Hinode/SOT and SDO/HMI, AIA Data for the Study of the Solar Flare Trigger Process, Publ. Astron. Soc. Japan, Publications of the Astronomical Society of Japan, 66, SP1, ud,S169, 2014 (10.1093/pasj/psu092)
- Fukuda, Y., M. Hirahara, K. Asamura, T. Sakanoi, Y. Miyoshi, T. Takada, A. Yamazaki, K. Seki and Y. Ebihara, Electron properties in inverted-V structures and their vicinities based on Reimei observation, J. Geophys. Res., 119, 3650-3663, doi:10.1002/2013JA018938, 2014.
- Gerrard, A., L. J. Lanzerotti, M. Gkioulidou, D. G. Mitchell, J. Manweiler, J. Bortnik, and K. Keika (2014), Initial Measurements of O-ion and He-ion Decay Rates Observed from the Van Allen Probes RBSPICE Instrument, Journal of Geophysical Research Space Physics, doi:10.1002/2014JA020374.
- Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nosé, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), Journal of Space Science Informatics Japan, JAXA Research and Development Report, JAXA, in press, 2015.

- Hori, T., Y. Miyashita, Y. Miyoshi, K. Seki, T. Segawa, Y.-M. Tanaka, K. Keika, M. Shoji, I. Shinohara, K. Shiokawa, Y. Otsuka, S. Abe, A. Yoshikawa, K. Yumoto, Y. Obana, N. Nishitani, A. S. Yukimatu, T. Nagatsuma, M. Kunitake, K. Hosokawa, Y. Ogawa, K. T. Murata, M. Nose, H. Kawano, and T. Sakanoi, CDF data archive and integrated data analysis platform for ERG-related ground data developed by ERG Science Center (ERG-SC), *J. Sp. Sci. Info. Jpn.*, 2014 (in press).
- Ieda, A., S. Oyama, H. Vanhamäki, R. Fujii, A. Nakamizo, O. Amm, T. Hori, M. Takeda, G. Ueno, A. Yoshikawa, R. J. Redmon, W. F. Denig, Y. Kamide, and N. Nishitani, Approximate forms of daytime ionospheric conductance, *J. Geophys. Res.*, 119, 10,397–10,415, 2014 (doi:10.1002/2014JA020665).
- Imada, S., Y. Bamba, and K. Kusano, Coronal behavior before the large flare onset, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 66, SP1, S1711, 2014.
- Inoue, S., T. Magara, V. S. Pandey, D. Shiota, K. Kusano, G. S. Choe, and K. S. Kim, Nonlinear force-free extrapolation of the coronal magnetic field based on the magnetohydrodynamic relaxation method, *Astrophys. J.*, 780, 101, 2014.
- Iwai, K., Y. Miyoshi, S. Masuda, F. Tsuchiya, A. Morioka, and H. Misawa, Spectral Structures and Their Generation Mechanisms for Solar Radio Type-I Bursts, *Astrophys. J.*, 789, 4, 2014.
- Iwai, K., Y. Miyoshi, S. Masuda, F. Tsuchiya, A. Morioka, and H. Misawa, Spectral Structures and Their Generation Mechanisms for Solar Radio Type-I Bursts, *Ap. J.*, 789,4,doi:10.1099/0004-637X/789/1/4, 2014.
- Kaithakkal, A. J., Y. Suematsu M. Kubo, Y. Iida, D. Shiota, and S. Tsuneta, Phtospheric Flow Fiels Related to the Evolution of the Sun's Polar Magnetic Patches Observed by Hinode Solar Optical Telescope, *Astrophys. J.*, 799, 139, 2015.
- Imamura, T., M. Tokumaru, H. Isobe, H., D. Shiota, H. Ando, M. Miyamoto, T. Toda, B. Häusler, M. Pätzold, A. Nabatov, A. Asai, K. Yaji, M. Yamada, and M. Nakamura, Outflow structure of the quiet Sun corona probed by spacecraft radio scintillations in strong scattering, *Astrophys. J.*, 788, 117, 2014.
- Kataoka, R., T. Sato, Y. Kubo, D. Shiota, T. Kuwabara, S. Yashiro, and H. Yasuda, Radiation dose forecast of WASAVIES during ground level enhancement, *Space Weather*, 12, 380-386, 2014 (10.1002/2014SW001053).
- Kataoka, R., Y. Fukuda, Y. Miyoshi, Y. Miyahara, S. Itoya, Y. Ebihara, D. Hampton, H. Dahlgren, D. Whiter, and N. Ivchenko, Compound auroral micromorphology: Ground-based high-speed imaging, *Earth, Planets and Space*, in press.
- Katoh, Y., M. Hikishima, H. Kojima, Y. Omura, S. Kasahara, M. Hirahara, Y. Miyoshi, K. Seki, K. Asamura, T. Takashima, and T. Ono, Direct measurement of non-linear wave-particle interactions in the Earth's magnetosphere: Wave-particle interaction analyzer (WPIA) for ERG mission, *JPS Conf. Proc.*, 1, 015100, 2014.
- Kawade, K., O. Adriani, L. Bonechi, M. Bongi, G. Castellini, R. D'Alessandro, M. Del Prete, M. Haguenaer, Y. Itow, K. Kasahara, et al. (K. Masuda, E. Matsubayashi, G. Mitsuka, Y. Muraki, T. Sako), The performance of the LHCf detector for hadronic showers, *JINST*, 9, P03016, 2014.
- Kurita, S., Y. Miyoshi, C. M. Cully, V. Angelopoulos, O. Le Contel, M. Hikishima, and H. Misawa (2014), Observational evidence of electron pitch angle scattering driven by ECH waves, *Geophys. Res. Lett.*, 41, doi:10.1002/2014GL061927.
- Kurita, S., Y. Miyoshi, C. Cully, V. Angelopoulos, O. Le Contel, M. Hikishima, and H. Misawa, Observational evidence of electron pitch angle scattering driven by ECH waves, *Geophys. Res. Lett.*, 2014GL061927.
- Lee, K.-S., S. Imada, Y.-J. Moon, and J.-Y. Lee, Spectroscopic study of a dark lane and a cool loop in a solar limb active region by Hinode/EIS, *Astrophys. J.*, 780, 177, 2014.
- Machida, S., Y. Miyashita, A. Ieda, M. Nosé, V. Angelopoulos, and J. P. McFadden, Statistical visualization of the Earth's magnetotail and the implied mechanism of substorm triggering based on superposed-epoch analysis of THEMIS data, *Ann. Geophys.*, 32, 99-111, 2014.

- Machida, S., Y. Miyashita, A. Ieda, M. Nosé, V. Angelopoulos, and J. P. McFadden, Statistical visualization of the Earth's magnetotail and the implied mechanism of substorm triggering based on superposed-epoch analysis of THEMIS data, *Ann. Geophys.*, 32, 99-111, 2014.
- Martinez, C., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, M. Ozaki, I. Schofield, and M. Connors, Polarization analysis of VLF/ELF waves observed at subauroral latitudes during the VLF-CHAIN campaign, *Earth, Planet and Space*, in press.
- Miyake, W., Y. Miyoshi, and A. Matsuoka, On the spatial extent of the proton radiation belt from solar cell output variation of the Akebono satellite, *Adv. Space Res.*, 53, 1603-1609, 2014.
- Mori, Y. A. Yamashita, M. Tanaka, R. Kataoka, Y. Miyoshi, T. Kaneko, M. Okutomi, H. Asama: Calibration of Fish-Eye Stereo Camera for Aurora Observation, *Proc. International Workshop on Advanced Image Technology 2013 (IWAIT2013)*, Nagoya, Japan, 729-734 January, 2013.
- Morioka, A., Y. Miyoshi, Y. Kasaba, N. Sato, A. Kadokura, H. Misawa, Y. Miyashita, and I. Mann, Substorm onset process: Ignition of auroral acceleration and related substorm phases, *J. Geophys. Res.*, 119, 1044-1059, 2014 (10.1002/2013JA019442).
- Nakamura, S., Y. Omura, S. Machida, M. Shoji, M. Nosé, and V. Angelopoulos, Electromagnetic ion cyclotron rising tone emissions observed by THEMIS probes outside the plasmopause, *J. Geophys. Res.*, 119, 1874-1886, 2014 (10.1002/2013JA019146).
- Nakamura, S., Y. Omura, S. Machida, M. Shoji, M. Nosé, and V. Angelopoulos, Electromagnetic ion cyclotron rising tone emissions observed by THEMIS probes outside the plasmopause, *J. Geophys. Res. Space Physics*, 119, 2014 (10.1002/2013JA019146).
- Nishiyama, T., T. Sakanoi, Y. Miyoshi, D. L. Hampton, Y. Katoh, R. Kataoka, and S. Okano, Multi-scale temporal variations of pulsating auroras: on-off pulsation and a few-Hz modulation, *J. Geophys. Res.*, 119, 3514-3527, doi:10.1002/2014JA019818, 2014.
- M. Nosé, K. Takahashi, K. Keika, L. M. Kistler, K. Koga, H. Koshiishi, H. Matsumoto, M. Shoji, Y. Miyashita, and R. Nomura (2014), Magnetic fluctuations embedded in dipolarization inside geosynchronous orbit and their associated selective acceleration of O⁺ ions, *Journal of Geophysical Research Space Physics*, doi:10.1002/2014JA019806
- Nosé, M., K. Takahashi, K. Keika, L. M. Kistler, K. Koga, H. Koshiishi, H. Matsumoto, M. Shoji, Y. Miyashita, and R. Nomura, Magnetic fluctuations embedded in dipolarization inside geosynchronous orbit and their associated selective acceleration of O⁺ ions, *J. Geophys. Res.*, 119, 4639-4655, 2014 (doi:10.1002/2014JA019806).
- Ohtani, S., M. Nosé, Y. Miyashita, and A. T. Y. Lui, Responses of different ion species to fast plasma flows and local dipolarization in the plasma sheet, *J. Geophys. Res.*, 120, 2015 (doi:10.1002/2014JA020517).
- Ohya, H., K. Shiokawa, and Y. Miyoshi, Daytime tweek atmospherics, *J. Geophys. Res.*, 120, doi:10.1029/2014JA020375, 2015.
- Oyama, S., Y. Miyoshi, K. Shiokawa, J. Kurihara, T. Tsuda, and B. Watkins, Height-dependent ionospheric variations in the vicinity of nightside poleward expanding aurora after substorm onset, *J. Geophys. Res.*, 119, 4146-4156, doi:10.1002/2013JA019704, 2014.
- Sakaguchi, K., K. Shiokawa, Y. Miyoshi, and M. Connors, Isolated proton aurora and Pc1/EMIC waves at subauroral latitudes, *AGU monograph*, in press.
- Shiokawa, K., Y. Yokoyama, A. Ieda, Y. Miyoshi, R. Nomura, S. Lee, N. Sunagawa, Y. Miyashita, M. Ozaki, K. Ishizaka, S. Yagitani, R. Kataoka, F. Tsuchiya, I. Schofield, and M. Connors, Ground-based ELF/VLF chorus observations at subauroral latitudes - VLF-CHAIN Campaign, *J. Geophys. Res.*, 119, doi:10.1029/2014JA020161, 2014.
- Toriumi, S., Iida, Y., Kusano, K., Bamba, Y., Imada, S., Formation of a Flare-Productive Active Region: Observation and Numerical Simulation of NOAA AR 11158, *Solar Physics*, 289, 9, pp.3351-3369, 2014, (10.1007/s11207-014-0502-1).